

王亚男,王庆元,刘彬贤. 黄、渤海冷空气海浪场的集合预报试验[J]. 海洋学报, 2015, 37(9): 10-16, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2015.09.002

Wang Ya'nan, Wang Qingyuan, Liu Binxian. The ensemble wave forecast and test of cold air wave by using SWAN model in the Bohai Sea and the Yellow Sea[J]. Haiyang Xuebao, 2015, 37(9): 10-16, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2015.09.002

黄、渤海冷空气海浪场的集合预报试验

王亚男¹, 王庆元¹, 刘彬贤¹

(1. 天津市气象台, 天津 300074)

摘要: 利用欧洲集合天气预报系统 51 个预报风场驱动 SWAN 海浪模式, 对黄、渤海 2013 年 12 月—2014 年 2 月期间受冷空气影响的海浪场进行数值模拟试验, 并利用浮标观测资料对海浪集合预报结果进行初步检验分析, 结果显示: 从逐时平均偏差结果可知, 24 h 预报时效内集合平均与控制预报性能相近, 48~72 h 预报时效内, 集合平均明显优于控制预报, 但均比实况偏小; 集合分位值(75、90 百分位值和极端值)明显优于集合平均, 且预报时效越长, 优势越明显, 集合预报极端值与实况相当或略偏大; 从逐 24 h 平均偏差结果可知, 集合分位值(75、90 百分位值和极端值)比集合平均和控制预报更接近实况。总的分析表明: 集合分位值(75、90 百分位值和极端值)对受冷空气影响的海浪场具有较强的分辨能力, 可以提高对海浪场的预报水平, 且有较好的应用潜力。

关键词: 集合海浪预报; SWAN 海浪模式; 冷空气

中图分类号: P731.33

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2015)09-0010-07

1 引言

目前, 国内多使用 WAVEWATCHIII 海浪模式^[1-4]和 SWAN 海浪模式^[4-5]来制作海浪预报, 为单一的确定性预报, 这两者以数值天气预报风场为基础来驱动海浪模式, 从而制作有效波高等要素预报。而在国外, 除单一的确定性海浪预报外, 欧洲气象中心、美国气象环境预报中心和日本气象厅等业务部门均已经开展了集合海浪预报业务, 且预报产品在业务上已经广泛使用, 并取得良好的效果^[6]。但在我国, 集合海浪预报业务的开展还属于起步阶段, 仅孙明华^[6]使用 WAVEWATCHIII 海浪模式和 T213 集合天气预报系统构建了一个集合海浪预报系统; 相比单一确定性预报方法, 集合海浪预报方法则可将传统意义上的单一的确定性预报变成不确定性预报, 尽可能使得到的这组

不确定性预报包含未来海浪可能出现的所有状态, 从而达到提高海浪预报技巧的目的^[6], 发展集合海浪预报业务是海浪预报发展的一个新方向。

目前, 采用集合预报方法进行海浪预报主要有两种方法: 一种是采用海浪初始场加入初始扰动的方法生成多个海浪初始场, 从而通过海浪模式计算出多个海浪预报场; 另一种方法是直接使用集合天气预报生成的多个洋面风预报场来驱动海浪模式, 从而计算出多个海浪预报场。已有研究表明, 第一种方法可以影响 1~2 d 的海浪预报, 而对更长时效的海浪预报无明显影响; 第二种方法对较长时间的海浪预报影响明显, 这种方法风场的不确定性是引起海浪预报不确定性的最主要因子。目前, 国际上开展的集合海浪数值预报业务普遍采用第二种集合海浪预报方法^[6]。同时, 从 2014 年开始, 集合预报方法在天气预报业务中

收稿日期: 2014-09-12; 修订日期: 2015-06-10。

基金项目: 国家公益行业(气象)科研专项(GYHY201006034)。

作者简介: 王亚男(1982—), 女, 辽宁省绥中县人, 工程师, 主要从事海上大风、海浪等预报和研究工作。E-mail: wang_ya_nan05@126.com

已经开始普遍应用,使用第二种方法,将集合天气预报与海浪模式相联系,研究开发集合海浪数值预报方法,使集合海浪预报的业务化成为可能。

在冬季冷空气活动频繁,渤海和黄海的海浪场主要受冷空气天气系统影响^[7-10];对冷空气海浪场,已有少数学者做过专门的数值模拟分析,如刘铁军等^[11],姚琪等^[12],周兆黎和杨显宇^[13]等,但都是使用单一的模式进行确定性预报。在这样的背景下,本文作者在欧洲集合天气预报系统和 SWAN 海浪模式的基础上,对 2013 年 12 月—2014 年 2 月黄、渤海冷空气影响下的海浪场进行初步集合试验预报和结果检验分析。

2 集合海浪预报试验

2.1 集合海浪预报方法

本文使用的集合预报方法是用欧洲集合预报 10 m 风场的 51 个预报成员分别驱动 SWAN 海浪模式,计算出 51 个海浪预报结果,其中集合天气预报的 51 个成员包括 1 个 10 m 风场控制预报和 50 个 10 m 风场扰动预报,计算得到的海浪场成员也包括 1 个海浪控制预报和 50 个海浪扰动预报,其中各海浪预报成员的初始海浪场为模式控制预报前一预报时段制作的 12 h 海浪预报场。之后,再根据各预报成员计算集合平均、离散度、站点箱须图、烟羽图及集合概率值

预报产品等,形成集合海浪数值预报产品。所使用 SWAN 海浪模式的基本参数和概括如表 1 所示。其中,欧洲集合预报 10 m 风场分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$,使用距离平方反比的方法插值到 SWAN 海浪模式的格点上,分辨率为 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 。

表 1 SWAN 海浪模式的基本参数概括
Tab. 1 Parameters of the SWAN wave forecast model

参数	参考值
分辨率	$0.1^\circ \times 0.1^\circ$
预报时效	72 h
起报时间	8 时、20 时
输出时间间隔	1 h
初始 10 m 风场(天气模式)	欧洲集合预报

2.2 冷空气过程说明

2013 年 12 月到 2014 年 2 月期间,共有 7 次较明显的冷空气过程影响黄、渤海海域,如表 2 所示。这 7 次冷空气过程有 6 次为西来槽东移发展影响黄、渤海,地面配合明显的冷锋和锋后冷高压,海上代表站已偏北风为主,风力均达 7 级以上,仅过程三受东北冷涡影响,冷空气为东北路径影响黄、渤海海域,地面配合回流冷锋和冷高压,海上代表站已东北风为主,风力 7 级以上。

表 2 冷空气过程简单描述

Tab. 2 Characteristics of the cold air processes

过程序号、日期	高空影响系统/地面影响系统/最大风速
过程一、12 月 8—9 日	高空槽/冷锋、冷高压/北风 18.1 m/s
过程二、12 月 10—11 日	高空槽/冷锋、冷高压/北风 21.7 m/s
过程三、12 月 17 日	东北冷涡、高空槽/冷锋、冷高压/东北风 14.3 m/s
过程四、12 月 26—27 日	高空槽/冷锋、冷高压/北风 17.6 m/s
过程五、1 月 19—20 日	高空槽/冷锋、冷高压/北风 21.9 m/s
过程六、2 月 2—3 日	高空槽/冷锋、冷高压/北风 15.3 m/s
过程七、2 月 8—9 日	高空槽/冷锋、冷高压/北风 14.7 m/s

3 预报检验

本文使用上述 SWAN 海浪集合预报方法,对 2013 年 12 月—2014 年 2 月的冷空气过程进行预报试验,冷空气过程描述如表 2 所示,预报时间从每次冷空气过程前 3 天开始到冷空气过程结束,起报时间

为每天 8 时和 20 时。

实况资料共选取渤海到黄海中部内 8 个浮标、平台、海岛站,具体位置如图 1 所示,其中实心圆圈为有效波高实况观测站,空心圆圈为风场观测站,为了保持一致性和可对比性,认为邻近有效波高站点的风场观测即为有效波高站点风场实况,取所有样本预报数

据,其中位于山东半岛以北临近的两个有效波高测站,均使用位于其中间的风场测站进行风速检验;对风速和有效波高的 12~72 h 的预报值与对应浮标观测值进行统计检验分析。

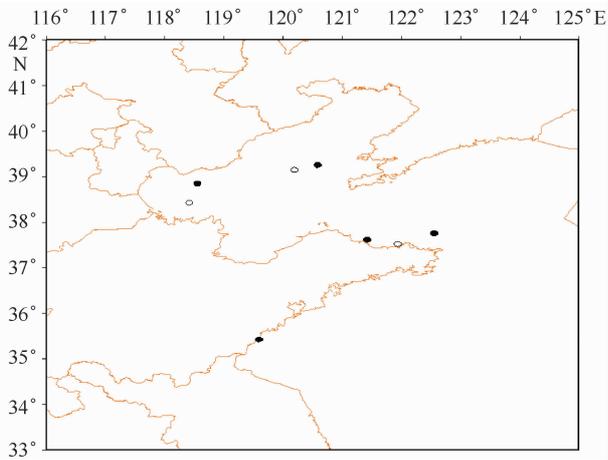


图 1 站点地理位置(○风场测站,●有效波高测站)

Fig. 1 Site location (○ wind observatory,
● significant wave height observatory)

首先对比集合平均预报值与单站的控制预报结果,检验指标包括所有预报样本的预报值与观测值的逐时平均相对误差(偏差)。从系统对于风速和有效波高的逐时平均预报偏差来看,在 24 h 预报时效内,系统对于风速和有效波高的集合平均的预报偏差略优于控制预报,但这种优势并不明显,而在 48~72 h 预报时效内,集合平均的预报偏差明显优于控制预报;同时平均偏差均小于 0,但偏小并不明显,72 h 预报时效内风速和有效波高分别平均偏小在 2 m/s 和 0.3 m 以内;风速和有效波高的变化趋势相一致,这反映了有效波高的预报准确性与风场的预报准确性的关系,而集合天气预报系统对风速的低估,是导致本系统对有效波高低估的一个主要因素。图 2c,d 显示了风速和有效波高逐时平均均方根误差和离散度的变化情况,从图中可看出,风速和有效波高的集合平均逐时平均均方根误差要略低于控制预报的逐时平均均方根误差,但差距不明显,两者变化趋势一致,且数值相近,预报时效越长(48~72 h),差距越明显;而逐时平均离散度比集合平均和控制预报的逐时平均均方根误差明显偏小。有效波高离散度的偏低在现在的集合海浪预报系统中普遍存在,有学者认为可能是在集合海浪预报系统的设计中,只扰动了风强迫力,因此只有风浪的扰动生成,而实际上涌浪在生成时也存在不确定性,由于涌浪离散度上的贡献明显被

低估,从而导致系统的离散度偏小^[7],而对于本系统来说集合天气预报系统对风速离散度的低估,可能也是平均离散度明显偏小的原因。

从以上分析来看,随着预报时效的延长,集合平均的优势越明显,集合平均比单一的控制预报的误差增长速度明显偏小,体现了集合预报方法的优越性。同时集合平均是集合预报的初级产品,仍属于确定性预报的范畴,集合预报的意义更多在于可以提供预报的多种可能性。由于集合平均和控制预报比实况偏小,进一步统计了风速和有效波高的集合分位值(75、90 百分位和极端值)相对于实况的平均偏差,如图 3 所示。从风速和有效波高的集合分位值逐时预报平均偏差来看,集合分位值(75、90 百分位和极端值)产品的平均偏差明显要优于集合平均的平均偏差,且预报时效越长,优势越明显。风速的集合 75、90 百分位值平均偏差比集合平均的平均偏差分别减少约 0.3~0.6 m/s 和 0.5~1 m/s;有效波高的集合 75、90 百分位值的平均偏差比集合平均的平均偏差分别减少约 0.05~0.1 m 和 0.1~0.2 m;而风速和有效波高的极端值平均偏差均大于 0 或在 0 值左右,说明从逐时平均情况来看风速和有效波高的集合极端值预报与实况相当或略偏大。集合分位值(75、90 百分位和极端值)的平均偏差明显优于集合平均(同理明显优于控制预报),在一定程度上弥补了控制预报和集合平均比实况偏小的情况,提供了预报的多种可能性。

取 54641 站浮标数据,对 2013 年 12 月 8 日 20 时起报的有效波高集合成员预报值与观测值进行对比,如图 4 所示,有效波高各集合预报成员的变化趋势与观测值相一致,但集合成员预报并不能完全涵盖观测值的范围,比观测值偏小,与前面逐时平均偏差分析相一致;将集合统计量即集合平均、集合分位值(75、90 百分位和极端值)与观测值进行对比,如图 4b 所示,实况有效波高极端值要高于集合有效波高极端值,但其变化趋势,与实况接近,对有效波高的预报具有一定的指示意义。

以上集合统计量分析为逐时多个样本平均偏差分析,在一定程度上,有平滑的作用,减小了最值的影响,为了更好的检验分析本系统对在冷空气影响时的风速和有效波高最大值的模拟结果,取逐 24 h 间隔内集合平均、控制预报、集合分位值(75、90 百分位和极端值)预报最大值与实况 24 h 内最大值进行对比,检验指标为所有预报样本的逐 24 h 预报最大值与观测最大值的平均相对误差(偏差)。从图 5 来看,系统

对于风速和有效波高的逐 24 h 最大值预报,控制预报、集合平均以及集合分位值(75、90 百分位和极端值)均比实况偏小,集合分位值(75、90 百分位和极端值)的误差明显小于控制预报;有效波高极端值平均

偏差随时效延长,增大不明显,误差在 0.2 m 左右,接近实况。有效波高集合分位值(75、90 百分位和极端值)在一定程度上弥补了控制预报和集合平均预报的不足,虽然仍比实况偏小,但明显要更接近于实况。

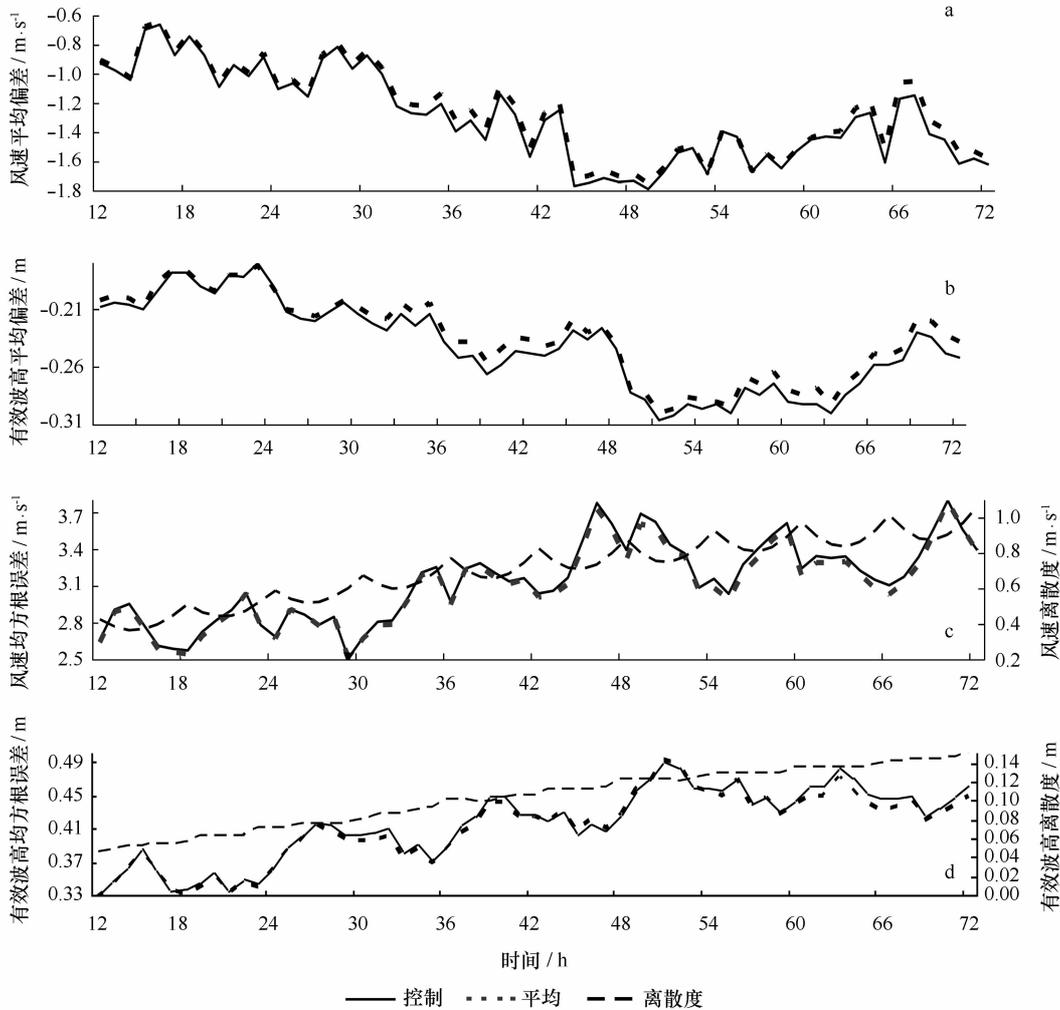


图 2 逐时平均偏差变化曲线

Fig. 2 The hourly deviation curves

a. 10 m 风速, b. 有效波高, c. 10 m 风速均方根误差和离散度, d. 有效波高均方根误差和离散度

a. 10 m wind speed, b. significant wave height, c. root mean square error and spread of 10 m wind speed, d. root mean square error and spread of significant wave height

4 小结

本文在 SWAN 海浪模式的基础上,使用欧洲集合预报 10 m 风场中的 1 个控制预报和 50 个成员预报的预报结果,对黄、渤海范围内,2013 年 12 月到 2014 年 2 月的冷空气海浪场进行集合预报模拟试验,并使用浮标观测值展开初步的检验分析,得到以下

结论:

(1) 从风速和有效波高的逐时预报平均偏差来看,预报时效越长,集合平均比控制预报的优势越明显;72 h 预报时效内,风速和有效波高的预报均比实况略偏小,分别平均偏小在 2 m/s 和 0.3 m 以内。

(2) 风速和有效波高的逐时平均均方根误差要大于平均离散度,说明本系统的离散度偏小;集合天

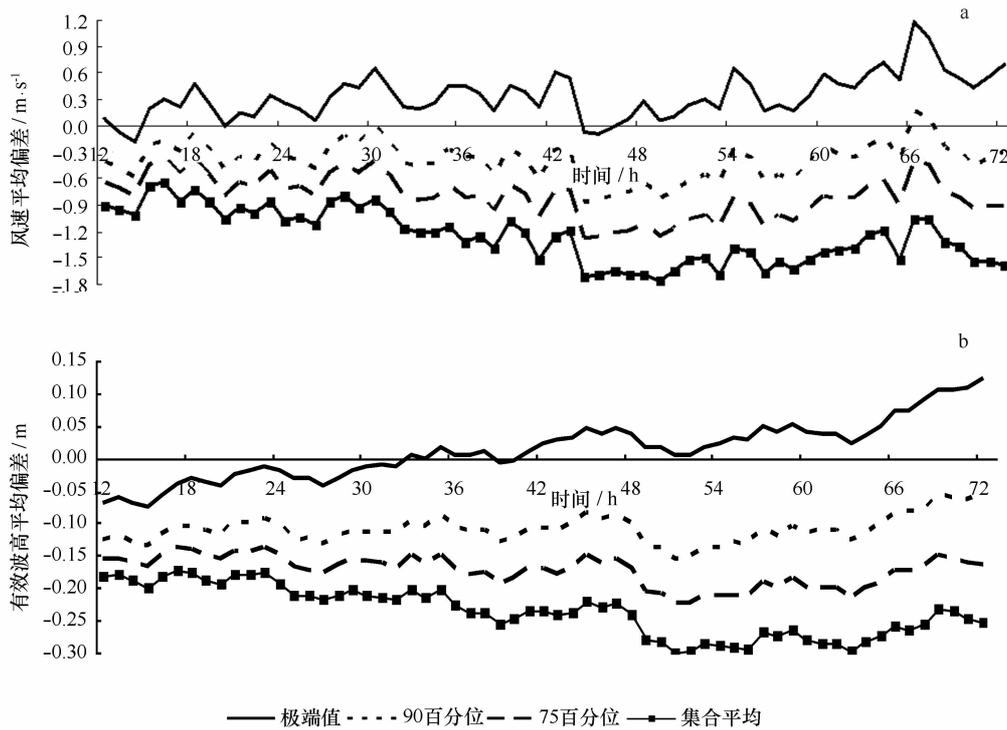


图3 集合统计量(集合平均、极端值、90(75)百分位)逐时平均偏差变化曲线(a. 风速,b. 有效波高)
 Fig. 3 The hourly deviation curves of ensemble statistics(ensemble mean,extreme,90(75)quantile)
 (a. 10 m wind speed,b. significant wave height)

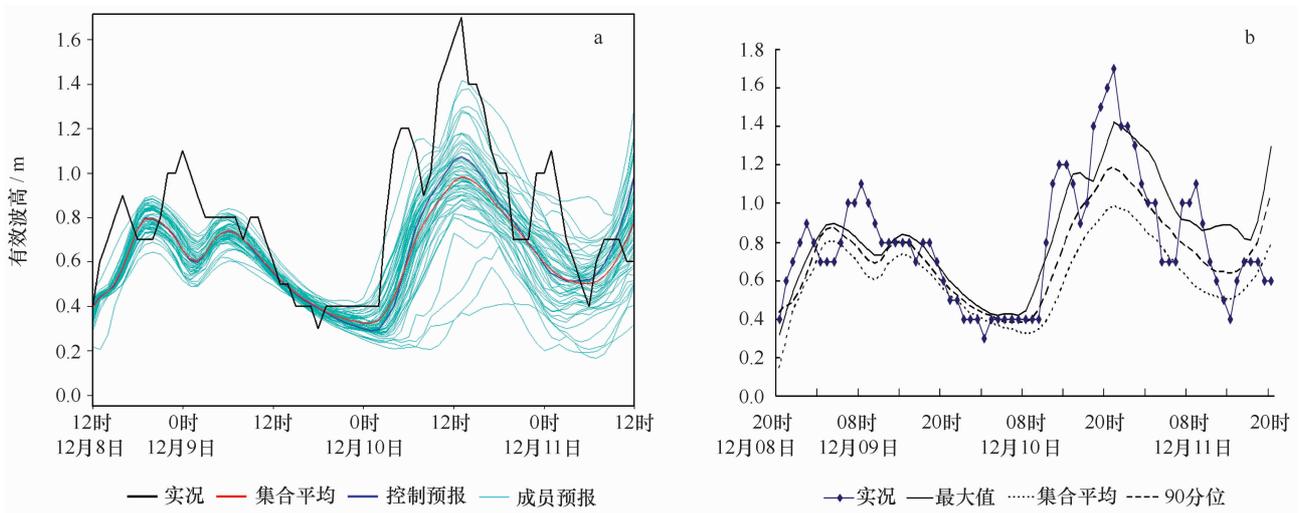


图4 2013年12月8日20时起报54641站(38.85°N,118.55°E)有效波高逐时集合成员、集合平均和控制预报与实况对比变化曲线(a),集合统计量(集合平均、90百分位和极端值)与实况对比变化曲线(b)
 Fig. 4 The comparison of the ensemble forecast with the observation data at 20:00 8 Dec 2013 51 ensemble members,ensemble mean and control(a),ensemble mean,90 quantile and extreme(b)

气预报系统对风速离散度的低估,可能是离散度偏小的一个原因。

(3) 从风速和有效波高的集合分位值(75、90百

分位和极端值)的逐时、逐24 h 预报平均偏差来看,集合分位值(75、90百分位和极端值)明显要优于集合平均和控制预报,且预报时效越长,优势越明显。

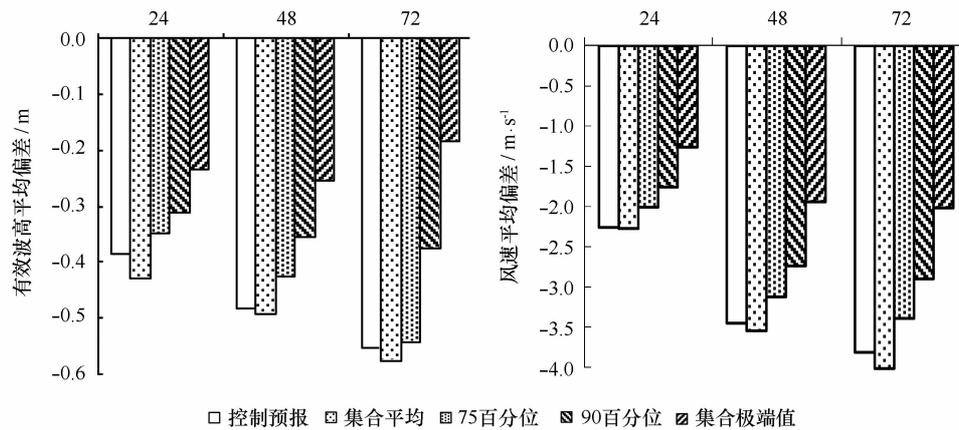


图5 逐24 h最大值平均偏差变化曲线(a.有效波高,b.风速)

Fig. 5 The deviation curves of 24 h maximum value (a. significant wave height, b. 10 m wind speed)

应指出,集合天气预报系统在冷空气影响前后对风速的低估,是造成集合海浪预报所得结果比实况偏小的主要原因。而相比单一的确定性预报,即控制预报,集合天气预报系统对风速的低估已明显减小。从以上分析来看,虽然在冷空气影响时,集合海浪预报系统的集合平均比实况偏小,但集合分位值(75、90百

分位和极端值)对冷空气影响时的海浪场具有较强的分辨能力,在一定程度上弥补了控制预报和集合平均比实况偏小的不足,提供了预报的多种可能性,可以提高对冷空气影响时的海浪场的预报水平,具有较好的发展前景。

参考文献:

- [1] 李燕,黄振,张俊峰,等. WAVEWATCH III模式在渤海海浪预报的应用与检验[J]. 气象与环境学报,2014,30(1):23-29.
Li Yan, Huang Zhen, Zhang Junfeng, et al. Application and verification of sea wave forecast by WAVEWATCH III model in the Bohai Sea of China [J]. Journal of Meteorology and Environment, 2014, 30(1): 23-29.
- [2] 毛科峰,萧中乐,王亮,等. 数值模式与统计模型相耦合的近岸海浪预报方法[J]. 海洋学报,2014,36(9):18-29.
Mao Kefeng, Xiao Zhongle, Wang Liang, et al. Coastal wave forecasting by dynamical model coupled with a statistical model [J]. Haiyang Xuebao, 2014, 36(9): 18-29.
- [3] 毛科峰,陈希,李妍,等. WAVEWATCH-III海浪模式中岛屿次网格效应的检验与比较[J]. 海洋学报,2012,34(5):11-19.
Mao Kefeng, Li Xi, Li Yan, et al. Validation and comparison of sub-grid islands effect in ocean wave model of WAVEWATCH-III [J]. Haiyang Xuebao, 2012, 34(5): 11-19.
- [4] 梅婵娟,赵栋梁,史剑. 两种海浪模式对中国黄海海域浪高模拟能力的比较[J]. 海洋预报,2008,25(2):92-98.
Mei Chanjuan, Zhao Dongliang, Shi Jian. The analysis of Yellow Sea wave with WAVEWATCH and SWAN models [J]. Marine Forecasts, 2008, 25(2): 92-98.
- [5] 王道龙,华锋,江志辉. SWAN 近岸海浪模式在辽东湾的应用[J]. 海洋科学进展,2010,28(3):285-291.
Wang Daolong, Hua Feng, Jiang Zhihui. Application of coastal wave model SWAN to Liaodong Bay [J]. Advances in Marine Science, 2010, 28(3): 285-291.
- [6] 孙明华. 一个集合海浪预报系统及其初步试验[J]. 应用气象学报,2011,22(6):673-680.
Sun Minghua. An Ensemble ocean wave forecast system and preliminary experiment [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2011, 22(6): 673-680.
- [7] 张薇,高山,闫忠辉,等. 渤海灾害性海浪特征分析[J]. 海洋预报,2012,29(5):73-77.
Zhang Wei, Gao Shan, Yan Zhonghui, et al. Characteristics of the disastrous wave in the Bohai Sea [J]. Marine Forecasts, 2012, 29(5): 73-77.
- [8] 许富祥,余宙文. 中国近海及其邻近海域灾害性海浪监测和预报[J]. 海洋预报,1998,15(3):64-68.
Xu Fuxiang, Yu Zhouwen. Monitoring and Predicting of the disastrous wave over ocean area near China [J]. Marine Forecasts, 1998, 15(3): 64-68.
- [9] 许富祥. 中国近海及其邻近海域灾害性海浪的时空分步[J]. 海洋学报,1996,18(2):26-31.
Xu Fuxiang. Spatial and Temporal distribution of the disastrous wave over ocean area near China [J]. Haiyang Xuebao, 1996, 18(2): 26-31.
- [10] 许富祥,韦锋余,邢闯. 090415 渤海黄海北部灾害性海浪风暴潮过程灾情成因分析及灾后反思[J]. 海洋预报,2009,26(3):39-44.
Xu Fuxiang, Wei Fengyu, Xing Chuang. The review and rethinking after the disaster of disastrous waves and storm surges in the northern Bohai and Yellow Sea 09 on April 15 [J]. Marine Forecasts, 2009, 26(3): 39-44.

- [11] 刘铁军,郑崇伟,周林,等. 基于 QN 混合风场和 SWAN 模式的一次冷空气海浪场模拟分析[J]. 气象水文海洋仪器, 2013, 9(3): 8-12.
Liu Tiejun, Zheng Chongwei, Zhou Lin, et al. Analysis on a cold air wave by using QN mixed wind data and SWAN model[J]. Meteorological, Hydrological and Marine Instruments, 2013, 9(3): 8-12.
- [12] 姚琪,郑崇伟,苏勤,等. 基于 WAVEWATCH III 模式的一次冷空气过程海浪场模拟研究[J]. 海洋预报, 2013, 30(2): 49-54.
Yao Qi, Zheng Chongwei, Su Qin, et al. Simulation of wave field in the China Sea by using WAVEWATCH III wave model[J]. Marine Forecasts, 2013, 30(2): 49-54.
- [13] 周兆黎,杨显宇. WAVEWATCH III 模式模拟南海冷空气过程海浪场的有效性检验[J]. 热带海洋学报, 2008, 27(2): 1-6.
Zhou Zhaoli, Yang Xianyu. Numerical simulation of wave field in South China Sea using WAVEWATCH III[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2008, 27(2): 1-6.

The ensemble wave forecast and test of cold air wave by using SWAN model in the Bohai Sea and the Yellow Sea

Wang Ya'nan¹, Wang Qingyuan¹, Liu Binxian¹

(1. Tianjin Meteorological Observatory, Tianjin 300074, China)

Abstract: In the paper, a wave forecast system is established by running the wave model SWAN (Simulating Waves Nearshore). The forcing wind field in this system is reconstructed by the 51 members of EC ensemble weather forecast system. Then, a case study of the cold air during December 2013 to February 2014 is conducted to analysis the features of wave effected by the cold air using this system. Furthermore, using buoys data, the system forecasts are verified and compared. The main results are as follows: for the view of hourly mean bias, in 24 h forecast period the performance of ensemble mean is similar to control forecast, in 48 to 72 h forecast period the performance of ensemble mean is better than control forecast. The forecast of ensemble mean and control forecast are smaller than the reality. In both periods, the performance of ensemble statistics (75%, 90% and extreme value) is better than control forecast and especially better in the long period of validity. Meanwhile, the forecast of ensemble extreme value is equal to or slightly larger than the reality; for the view of 24 hourly mean bias, the products of ensemble statistics (75%, 90% and extreme value) are closer to the reality than the ensemble mean and control forecast value. To sum up, the products of ensemble statistics (75%, 90% and extreme value) have higher accuracy of cold wave field. Conclusions show this system can improve the forecast level of wave influenced on cold air and have a good prospect of application.

Key words: ensemble wave prediction; SWAN; cold air